

LITERATURA

1. Matta R.: Sol. State Technol., nr 1, s.34, 1969.
 2. Jeol News, Vol. 6M nr 2, s.4, 1968.
 3. Thornhill J., Mackintosh M.: Micr. and Reliab., Vol. 4 s. 97, 1965.
 4. Davies J., Hughes K., Sulway D., Thornton P.: Sol. State Electr., Vol. 9, s. 275, 1966.
 5. Thomas R., Dix C., Koch P.: Microelectr. nr 3, s. 41, 1970.
 6. Lukianoff G.: Sol. State Technol., nr 3, s. 39, 1971.
 7. Thornton P., Hughes K.: Micr. and Reliab., Vol. 6, nr 1, s.9, 1967.
 8. Sadłowska E.: Biuletyn Informacyjny - Półprzewodniki, nr 2, s. 3, 1970.
 9. Pawłowska M., Kulig L., Sadłowska E.: Sprawozdanie wewnętrzne ONPMP "Opracowanie metodyki badań defektów w krzemowych elementach epiplanarnych przy pomocy elektronowego mikroskopu skaningowego" listopad 1973 r.
-

Irena SKRZYNECKA

Zakład Technologii Dyfuzji IFE

Badania zależności składu i struktury chemicznie osadzanych warstw azotku krzemu od parametrów procesu technologicznego

WSTĘP

Stosowanie amorficznych warstw azotku krzemu $/\text{Si}_3\text{N}_4/$ w mikroelektronice /np. do pasywacji półprzewodnikowych przyrządów i układów scalonych, maskowania procesów trawienia i utleniania krzemu w technologii izolacji tlenkowej oraz jako warstwy dielektrycznej w przyrządach polowych/ staje się ostatnio coraz częstsze.

Główną zaletą azotku krzemu, w porównaniu z termicznym dwutlenkiem krzemu, jest ich duża gęstość. Wiąże się z nią szczególnie wysoka odporność na zanieczyszczenia jonami i domieszkami oraz szereg innych korzystnych właściwości, jak np. duża wartość wytrzymałości dielektrycznej i przenikalności dielektrycznej [1].

Najczęściej stosowaną metodą otrzymywania tych warstw jest chemiczne osadzanie w wyniku reakcji bezwodnego amoniaku z silanem [2,3] lub czterochlorkiem krzemu [4] w zakresie temperatur rzędu 800 - 1000°C. Jednakże, w porównaniu z procesem utleniania termicznego, proces osadzania warstw Si_3N_4 jest bardziej złożony i trudniejszy do kontrolowania. Dokładny stosunek ilości atomów krzemu do ilości atomów azotu w warstwie silnie zależy od czystości reagentów i warunków procesu; dlatego kontrola tych warunków jest szczególnie ważna.

Natomiast w przypadku warstw termicznego SiO_2 stechiometrii nie stanowi właściwie problemu. Ponadto ślady tlenu $/\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2/$ w użytych do wytworzenia Si_3N_4 materiałach powodują powstanie mieszanych warstw $\text{Si}_x\text{N}_y\text{O}_z$.

Z kolei, od składu i struktury silnie zależą własności warstw azotku krzemu /szybkość trawienia, właściwości umożliwiające przeprowadzenie odpowiedniej obróbki fotochemicznej, zdolności maskujące, właściwości elektryczne/.

W niniejszej pracy przedstawiono sposób wytwarzania chemicznie osadzanych warstw azotku krzemu w wyniku reakcji silanu z amoniakiem w atmosferze wodoru oraz wpływ technologii na skład i strukturę otrzymywanych warstw.

SPOSÓB WYTWARZANIA WARSTW Si_3N_4

Warstwy azotku krzemu wytwarzano na krzemowych podłożach metodą chemicznego osadzania z fazy gazowej /ang. chemical vapor deposition/ w wyniku reakcji silanu SiH_4 z amoniakiem NH_3 w atmosferze wodoru. Schemat urządzenia przedstawiono na rys. 1.

Linie gazowe silanu i amoniaku posiadały układy umożliwiające płukanie tych linii wodorem przed lub po zakończeniu pracy na stanowisku, co zapobiega tworzeniu się w przewodach osadu krzemionki.

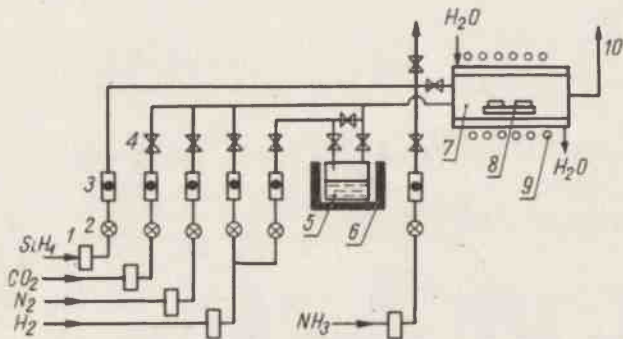
Umyte i wysuszone strumieniem odpylonego azotu płytki krzemowe umieszczane były w chłodzonej wodą komorze reakcyjnej na pochylonej kasecie grafitowej grzanej indukcyjnie. Przed osadzeniem warstw Si_3N_4 kaseca ta była pokrywana w procesie epitaksji krzemem, a następnie warstwa krzemu była wtapijana w grafit.

W procesach stosowano silan rozcieńczony wodorem o czystości 5N5 /stężenie SiH_4 w butli wynosiło 0,5%/ i amoniak bezwodny o czystości 4N5 oraz wodór o zawartości tlenu nie przekraczającej 1 - 2 ppm i punkcie rosy -62°C .

Warstwy Si_3N_4 wytwarzano w temperaturze $T_p = 825 - 975^\circ\text{C}$ /mierzonej pirometrem optycznym/ przy ustalonym natężeniu przepływu wodoru wynoszącym 15 l/min. Stężenie silanu zmieniano w granicach $C_{\text{SiH}_4} = 0,001 - 0,025\%$ oraz amoniaku w granicach $C_{\text{NH}_3} = 0,2 - 8\%$ co odpowiada stosunkowi

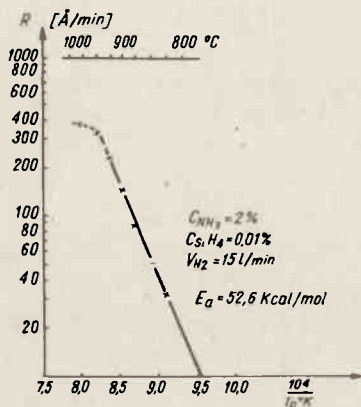
$$\frac{C_{\text{NH}_3}}{C_{\text{SiH}_4}} = 20 - 5000.$$

Grubość warstw i współczynnik załamania mierzono elipsometrem.

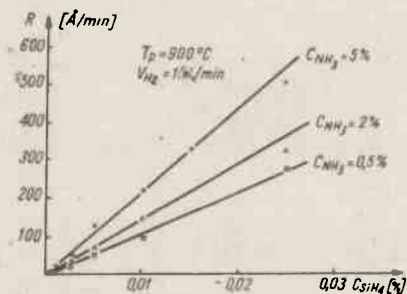


Rys. 1. Schemat aparatury do otrzymywania warstw Si_3N_4 : 1 - filtr odpylający, 2 - zawór do regulacji przepływu gazu, 3 - przepływomierz, 4 - zawór elektromagnetyczny, 5 - saturator z SiCl_4 , 6 - ultratermostat, 7 - komora reakcyjna chłodzona wodą, 8 - kaseca grafitowa z płytkami krzemowymi, 9 - zwojnica indukcyjna, 10 - wylot gazów poreakcyjnych.

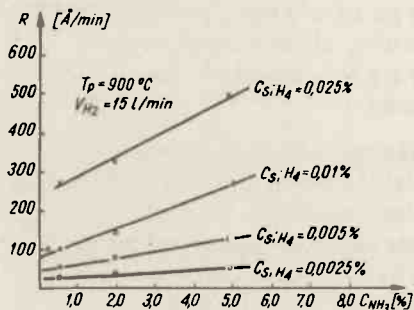
Na rys. 2, 3 i 4 przedstawiono zależności szybkości osadzania R warstw Si_3N_4 od temperatury podłoża, stężenia silanu oraz od stężenia amoniaku w mieszaninie reagującej [5].



Rys. 2. Zależność szybkości osadzania warstw Si_3N_4 otrzymywanych w wyniku reakcji $\text{SiH}_4 - \text{NH}_3$ od temperatury podłoża.



Rys. 3. Zależność szybkości osadzania warstw Si_3N_4 od stężenia silanu w mieszaninie reagującej.



Rys. 4. Zależność szybkości osadzania warstw Si_3N_4 od stężenia amoniaku w mieszaninie reagującej.

Zależność szybkości osadzania od temperatury podłoża jest eksponencjalna /typu $R \sim \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right)$ w zakresie temperatury do około 950°C z energią aktywacji

$E_a = 53 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}}$. Otrzymana wartość energii aktywacji jest zgodna z wartościami E_a przytoczonymi w literaturze [3] podobnie jak i zmiana wartości E_a /nachylenia krzywej/ w zakresie wyższych temperatur.

Zmniejszenie się szybkości osadzania warstwy przy wyższych temperaturach świadczy o zmianie mechanizmu reakcji: w obszarze liniowej zależności szybkość osadzania zależy od szybkości reakcji chemicznej, natomiast w obszarze nasycenia - od szybkości transportu reagentów z fazy gazowej do powierzchni płytki. Może być ono również związane z tworzeniem się krystalicznych wtrąceń w warstwie amorficznej.

BADANIA SKŁADU I STRUKTURY

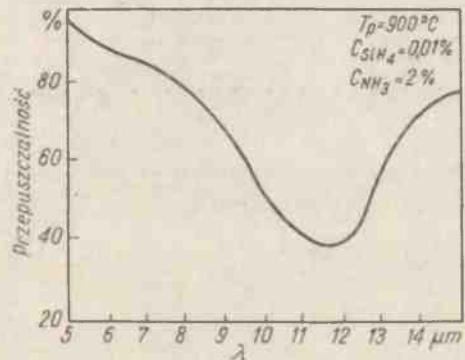
Do badań struktury i składu warstw dielektrycznych stosuje się szereg metod, jak metodę spektroskopii w podczerwieni, metody rentgenowskie, metody mikroskopii elektronowej, metody reakcji jądrowych i izotopów promieniotwórczych oraz pomiary współczynnika załamania i szybkości trawienia. Każda z tych metod dostarcza nieco innych informacji o warstwie dielektrycznej, dlatego dopiero przeprowadzenie badań kilkoma metodami pozwala na uzyskanie pełniejszego obrazu składu i struktury danej warstwy.

Pomiary absorpcji promieniowania podczerwonego. Metoda spektroskopii w podczerwieni wykorzystuje zjawisko pochłaniania promieniowania o określonej długości fali, charakterystycznej dla danego związku, do wyznaczenia składu warstwy.

Do badań absorpcji użyto obustronnie polerowane płytki Si typu n o orientacji krystalograficznej /111/ i rezystywności $\rho = 5 - 10 \Omega \text{cm}$, na których osadzano warstwy Si_3N_4 o grubości $x_{\text{N}} \sim 1300 \text{ \AA}$. Po zamaskowaniu "górnjej" strony płytki /pokrytej warstwą Si_3N_4 / lakierem, płytki były trawione w celu usunięcia z "dolnej" powierzchni szczątkowej warstwy Si_3N_4 .

W tak przygotowanych płytkach zdejmowano widmo pochłaniania promieniowania w zakresie długości fali $\lambda = 2 - 3 \mu\text{m}$ oraz $\lambda = 7 - 15 \mu\text{m}$. Po zmierzeniu płytek z warstwą Si_3N_4 osadzaną w różnych warunkach technologicznych stwierdzono: 1. istnienie maksimum pochłaniania przy $\lambda = 11,5 - 11,8 \mu\text{m}$, charakterystycznego dla związku Si_3N_4 [6,7]/rys. 5/, 2. brak pasma pochłaniania przy $\lambda = 9,2 \mu\text{m}$, charakterystycznego dla wiązań Si - O występujących w dwutlenku krzemu, 3. brak pasma pochłaniania przy $\lambda = 2,5 \mu\text{m}$ - charakterystycznego dla wiązań OH, 4. występowanie słabej zależności położenia pasma pochłaniania przy $\lambda = 11 \mu\text{m}$ od warunków procesu /Tabela 1,2,3/; zależność to związana jest ze stopniem zatlenienia danej warstwy [7] - w miarę wzrostu zawartości tlenu w warstwie Si_3N_4 , położenie tego pasma pochłaniania przesuwa się w stronę fal krótszych.

Metoda reakcji jądrowych [8]. Pozwala ona na wykrywanie zanieczyszczeń tlenem oraz na określenie odchyleń od stechiometrii w badanej warstwie dielektrycznej. Metodę pomiaru zawartości ozotu i tlenu w warstwie azotku krzemu opracowano w Zakładzie Reakcji Jądrowych IBJ [9]. Pomiar oparty jest na bezpośredniej rejestracji cząstek produktów reakcji jądrowych zachodzących na jądrach azotu i tlenu podczas bombardowania próbki strumieniem cząstek naładowanych o energii około 1 MeV /dla azotu stosowano reakcję $^{14}\text{N} /d, \alpha /^{12}\text{C}$, a dla tlenu $^{16}\text{O} /d, p /^{17}\text{O}$ /. Korzysta się przy tym z zależności pomiędzy liczbą zarejestrowanych produktów reakcji a grubością warstwy badanej i koncentracją badanych atomów w warstwie.



Rys. 5. Widmo pochłaniania promieniowania w zakresie podczerwieni w warstwie Si_3N_4 .

Wyniki pomiarów zawartości azotu i tlenu w warstwach Si_3N_4 wytwarzanych w różnych warunkach technologicznych zestawiono w tabelach 1,2 i 3. Dokładność wyzna-

czenia zawartości azotu wynosiła 2%, a tlenu 4 - 6%. Z porównania zawartości azotu obliczonej dla warstw o grubości x_N przy założeniu stechiometrycznego składu warstwy z wartościami wyznaczonymi eksperymentalnie można wnosić o odchyleniu od stechiometrii w badanych warstwach.

Zależność składu warstw Si_3N_4 od stężenia silanu dla $T_p = 900^\circ\text{C}$, $C_{\text{NH}_3} = 2\%$

Tabela 1

Numer próbki	C_{SiH_4} %/	x_N Å/	Zawartość $^{14}\text{N}/\text{cm}^2$ obliczona dla x_N	Wyznaczona zawartość		^{16}O	λ /µm/
				$^{14}\text{N}/\text{cm}^2$	$^{16}\text{O}/\text{cm}^2$	$^{14}\text{N} + ^{16}\text{O}$ %/	
626	0,0025	2030	$1,20 \cdot 10^{18}$	$1,05 \cdot 10^{18}$	$0,418 \cdot 10^{18}$	28,4	11,65
596	0,01	2300	1,36	1,15	0,170	12,9	
604	0,01	3000	1,77	1,73	0,181	9,5	11,75
598	0,025	3300	1,95	1,68	0,105	5,9	11,8

Zależność składu warstw Si_3N_4 od stężenia amoniaku przy $T_p = 900^\circ\text{C}$, $C_{\text{SiH}_4} = 0,01\%$ /dla próbek oznaczonych gwiazdką $C_{\text{SiH}_4} = 0,0025\%$ /

Tabela 2

Numer próbki	C_{NH_3} %/	x_N Å/	Zawartość $^{14}\text{N}/\text{cm}^2$ obliczona dla x_N	Wyznaczona zawartość		^{16}O	λ /µm/
				$^{14}\text{N}/\text{cm}^2$	$^{16}\text{O}/\text{cm}^2$	$^{14}\text{N} + ^{16}\text{O}$ %/	
583	0,2	2800	$1,65 \cdot 10^{18}$	$1,50 \cdot 10^{18}$	$0,297 \cdot 10^{18}$	16,5	11,65
596	2	2300	1,36	1,15	0,170	12,9	
604	2	3000	1,77	1,73	0,181	9,5	11,75
603	5	3300	1,95	1,95	0,169	8,0	
601	8	3200	1,89	1,78	0,123	6,5	11,8
626*	2	2030	1,20	1,05	0,418	28,4	11,65
621*	5	2700	1,57	1,36	0,157	10,5	11,8

Zależność składu warstw Si_3N_4 od temperatury podłoża przy $C_{\text{NH}_3} = 2\%$, $C_{\text{SiH}_4} = 0,01\%$

Tabela 3

Numer próbki	T_p °C/	x_N Å/	Zawartość $^{14}\text{N}/\text{cm}^2$ obliczona dla x_N	Wyznaczona zawartość		^{16}O	λ /µm/
				$^{14}\text{N}/\text{cm}^2$	$^{16}\text{O}/\text{cm}^2$	$^{14}\text{N} + ^{16}\text{O}$ %/	
608	850	4000	$2,36 \cdot 10^{18}$	$2,20 \cdot 10^{18}$	$0,402 \cdot 10^{18}$	15,5	11,5
596	900	2300	1,36	1,15	0,170	12,9	
604	900	3000	1,77	1,73	0,181	9,5	11,75
606	975	3040	1,80	2,16	0,146	6,6	11,75

Przedstawione wyniki: 1. świadczą o obecności dużych ilości tlenu w warstwach Si_3N_4 , 2. wskazują na niedobór azotu /w porównaniu z zawartością azotu obliczoną dla warstw o składzie stechiometrycznym przy założeniu takiej samej grubości warstwy/ w badanym zakresie stężeń silanu i amoniaku oraz temperatury, 3. wskazują na wyraź-

nią poprawę struktury warstwy Si_3N_4 /zmniejszenie procentowej zawartości tlenu/ w miarę wzrostu C_2SiH_4 , C_2NH_3 i T_p /wyjątek stanowi próbka z warstwą Si_3N_4 wytworzoną przy $T_p = 975^\circ\text{C}$.

Metoda mikroskopii elektronowej. Umożliwia ona m.in. wykrywanie obszarów o strukturze uporządkowanej /krystalitów/ w amorficznych warstwach dielektrycznych.

Strukturę krystalograficzną warstw Si_3N_4 badano za pomocą prześwietleniowego mikroskopu elektronowego.

Do badań przygotowano płytki krzemowe typu n o orientacji krystalograficznej /111/, na których osadzano warstwy Si_3N_4 o grubości $x_{\text{Si}} \sim 1300\text{\AA}$ w trzech różnych temperaturach podłoża: $T_p = 850, 900, 950^\circ\text{C}$. Stężenia gazów w mieszaninie reagującej wynosiły odpowiednio: $\text{C}_{\text{NH}_3} = 2\%$, $\text{C}_{\text{SiH}_4} = 0,01\%$. Na rys. 6 i 7 przedstawiono charakterystyczne obrazy mikrostruktury badanych warstw.

Rys. 6 przedstawia obraz mikrostruktury uzyskany dla warstw wytwarzanych w temperaturach 850 i 900°C . Widoczny jest obszar graniczny warstwa Si_3N_4 /obszar czysty/ - podłoże krzemowe /obszar z ciemnymi liniami/. Ciemne linie, zwane konturami ekstynkcyjnymi świadczą o krystalicznej strukturze tego obszaru. Obszar czysty odpowiada obszarowi amorficznemu /brak efektów ugięcia elektronów na sieci krystalicznej/. Dyfrakcja wykonana z obszaru czystego potwierdziła jego amorficzność, natomiast dyfrakcja wykonana z obszaru, w którym występują kontury ekstynkcji dała charakterystyczne dla struktury monokrystalicznej refleksy Lauego.

Na rys. 7 przedstawiono obraz mikrostruktury charakterystyczny dla warstw wytwarzanych w temperaturze $T_p = 950^\circ\text{C}$. Rys. 7 a przedstawia obszar graniczny Si- Si_3N_4 z widocznym krystalitem występującym w warstwie Si_3N_4 . Krystalitów tych nie obserwowano w obszarze monokrystalicznego podłoża. Dyfrakcja z krystalitów wykazała, że dają one refleksy układające się na pierścieniu zewnętrznym, odpowiadającym obrazowi dyfrakcyjnemu z obszaru amorficznego, co świadczy o ich polikrystalicznej strukturze.

Obszary krystaliczne mają kształty wydłużone o szerokościach zawierających się w granicach około 0,3 - 0,7 μm i długościach $\sim 0,8 - 3 \mu\text{m}$.

Rys. 7c przedstawia obraz krystalitów w ciemnym polu /w wiązce ugiętej/ z widocznymi małymi punktami świecącymi odpowiadającymi refleksom, co potwierdza polikrystaliczny charakter obszarów nazwanych krystalitami.

Pomiary szybkości trawienia i współczynnika załamania. Dostarczają one informacji o składzie /stechiometrii i obecności zanieczyszczeń/ danej warstwy oraz o jej gęstości [3,7]. Badano szybkość trawienia warstw Si_3N_4 w stężonym kwasie fluorowodorowym oraz w roztworze Bella / $300 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{O}$, 200 g NH_4F , $45 \text{ cm}^3 \text{ HF}$ / w temperaturze około 22°C . Określono ją na podstawie elipsometrycznych pomiarów grubości warstw po kilku kolejnych trawieniach w ustalonym czasie, wykonanych dla kilku próbek wytwarzanych w jednakowych warunkach technologicznych. Jednocześnie mierzono współczynnik załamania tych warstw.

W tabelach 4,5,6 zestawiono otrzymane wyniki szybkości trawienia i współczynnika załamania w zależności od stężenia silanu i amoniaku oraz od temperatury podłoża. Widoczny jest spadek szybkości trawienia oraz wzrost wartości współczynnika załamania ze wzrostem stężenia reagentów i temperatury.

Zależność szybkości trawienia i współczynnika załamania warstw Si_3N_4 osadzanych w temperaturze $T_p = 900^\circ\text{C}$ od stężenia silanu C_{SiH_4}

Tabela 4

C_{NH_3} /%/	C_{SiH_4} /%/	Szybkość trawienia /Å/min/		Wsp. załamania n
		Roztw. Bella	Stęż. HF	
2	0,0025	50	2400	1,75
2	0,01	12	450	1,85
2	0,025	14	525	1,87
5	0,001	25	960	1,85
5	0,0025	10,5	390	1,85
5	0,01	9	402	1,9

Zależność szybkości trawienia i współczynnika załamania warstw Si_3N_4 wytwarzanych w temperaturze $T_p = 900^\circ\text{C}$ od stężenia amoniaku C_{NH_3}

Tabela 5

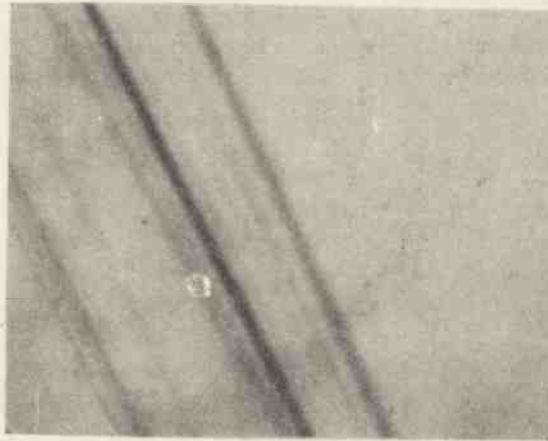
C_{SiH_4} /%/	C_{NH_3} /%/	Szybkość trawienia /Å/min/		Wsp. załamania n
		Roztw. Bella	Stężenie HF	
0,0025	2	50	2400	1,75
0,0025	5	10,5	390	1,85
0,01	2	12	450	1,85
0,01	5	9	402	1,9
0,01	8	14	540	1,9

Zależność szybkości trawienia i współczynnika załamania warstw Si_3N_4 osadzanych przy $\text{C}_{\text{NH}_3} = 2\%$ i $\text{C}_{\text{SiH}_4} = 0,01\%$ od temperatury podłoża T_p .

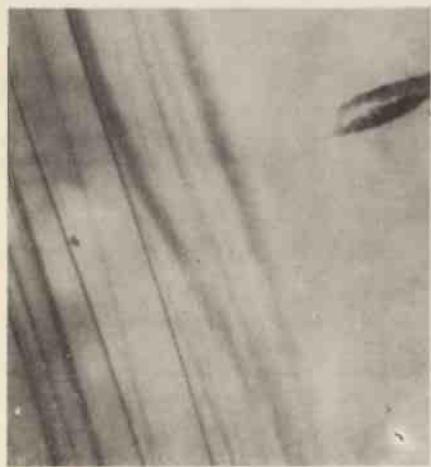
Tabela 6

T_p /°C/	Szybkość trawienia /Å/min/		Wsp. załamania n
	Roztwór Bella	Stężenie HF	
850	53	2280	1,7
900	12	450	1,85
950	11,5	420	1,95

Współczynnik załamania mierzono z dokładnością $\pm 0,025$. Błąd spowodowany jest niejednorodnością grubości warstw, jak również małą dokładnością wykresów, z których odczytywano n i x_{N} . W przypadku pomiarów szybkości trawienia na wartość błędu wpływają ponadto wahania temperatury roztworu trawiącego.



Rys. 6. Obraz mikrostruktury podłoża krzemowego i warstw Si_3N_4 wytwarzanych w temperaturze $T_p = 850$ i 900°C /powiększenie 9600x/.



a



b



c

Rys. 7. Obraz mikrostruktury podłoża krzemowego i warstw Si_3N_4 wytwarzanych w temperaturze $T = 975^\circ\text{C}$: a/ obszar graniczny warstwa Si_3N_4 /obszar czysty z wtrąceniem krystalicznym/ - podłoże Si /obszar z ciemnymi liniami/, b/ zdjęcie krystalitów występujących w warstwie Si_3N_4 , c/ zdjęcie tych krystalitów w ciemnym polu /powiększenie 6850x/.

Przedstawione badania pozwoliły stwierdzić, że otrzymywane warstwy Si_3N_4 charakteryzują się:

1. znacznym zatlenieniem. Potwierdzają to zarówno pomiary zawartości tlenu przeprowadzone metodą reakcji jądrowych, jak również wyniki badań szybkości trawienia, współczynnika załamania i położenia charakterystycznego maksimum pochłaniania promieniowania podczerwonego. Uzyskiwane warstwy Si_3N_4 są prawdopodobnie związkiem typu kopolimeru nieorganicznego, a nie mieszaniną złożoną z dwóch rodzajów cząsteczek SiO_2 i Si_3N_4 . Świadczy o tym brak odrębnego pasma w widmie pochłaniania promieniowania podczerwonego, charakterystycznego dla wiązań typu Si - O, mimo dość znacznego zatlenienia otrzymywanych warstw dochodzącego w niektórych przypadkach do 30%.

Stopień zatlenienia warstw maleje wraz ze wzrostem szybkości osadzania warstw. Duże zatlenienie jest prawdopodobnie związane z niedostateczną czystością gazów, a szczególnie wodoru rozcieńczającego, który jest zawsze obecny w olbrzymim nadmiarze /ponad 90%/ w komorze reakcyjnej podczas procesu /stać zwiększenie się zatlenienia warstw w przypadku dłużej trwających procesów osadzania/.

2. amorficzną strukturą krystalograficzną w przeważającym zakresie temperatur ich otrzymywania. Ślady wtrąceń krystalicznych w warstwach obserwowano jedynie w przypadku stosowania maksymalnych temperatur podłoża $T \sim 950^\circ\text{C}$ /. W temperaturach tych występuje spadek szybkości osadzania warstw Si_3N_4 oraz znaczne zmiany szeregu ich właściwości [10]:

- a/ odchylenie od składu stechiometrycznego,
- b/ wzrost wartości współczynnika załamania,
- c/ pogarszanie się wytrzymałości termicznej,
- d/ spadek wartości wytrzymałości elektrycznej,
- e/ wzrost wartości przenikalności dielektrycznej,
- f/ wzrost gęstości ładunku powierzchniowego i niestabilności typu pułapkowego.

• Wartości współczynnika załamania oraz szybkości trawienia są ściśle związane ze składem warstw azotku krzemu.

Dla warstw charakteryzujących się małym zatlenieniem /tzn. wartość stosunku

$$\frac{16\text{O}}{14\text{N} + 16\text{O}} \leq 10\%$$

współczynnik załamania wynosi 1,85 - 1,9, natomiast szybkości

trawienia w stężonym kwasie fluorowodorowym oraz w roztworze Bella wynoszą odpowiednio 380 - 540 Å/min i 9 - 14 Å/min.

Autorka artykułu wyraża podziękowanie mgr A. Dryzkowi za wykonanie pomiarów absorpcji w podczerwieni oraz mgr J. Toruniowi za wykonanie badań mikrostruktury warstw azotku krzemu.

LITERATURA

1. Skrzynecka I.: Metody wytwarzania i własności warstw Si_3N_4 na podłożu krzemowym, Biuletyn Informacyjny Półprzewodników FP Tewa, 2, 1969.
2. Doo V.Y., Nichols D.R., Silvey G.A.: Preparation and properties of pyrolytic silicon nitride. J. Electrochem. Soc., 113, 1279, 1966.
3. Bean K.E., Gleim P.S., Yeakley R.L.: Some properties of vapor deposited silicon nitride films using the SiH_4 - NH_3 - H_2 system. J. Electrochem. Soc., 114, 733, 1967.
4. Chu T.L., Lee C.H., Gruber G.A.: The preparation and properties of amorphous silicon nitride films, J. Electrochem. Soc., 114, 717, 1967.
5. Skrzynecka I., Żukowski A.: Wpływ warunków chemicznego osadzania warstw Si_3N_4 na ich własności. Prace ITE /w druku/.
6. Procesy technologiczne w elektronice półprzewodnikowej, Praca zbiorowa, WNT, 1973, Warszawa.
7. Rand M.J., Roberts J.F.: Silicon oxynitride films from the NO - NH_3 - SiH_4 reaction, J. Electrochem. Soc., 120, 446, 1973.
8. Meyer O., Gyulai J., Meyer J.W.: Analysis of amorphous layers on silicon by backscattering and channeling effect measurements. Surf. Sc., 22, 263, 1970.
9. Turoś A., Wieluński L., Barcz A.: Wyznaczanie zawartości azotu i tlenu w warstwach powierzchniowych azotków krzemu. Opracowanie wewnętrzne IBJ nr 0.67/1/74.
10. Skrzynecka I.: Opracowanie technologii wytwarzania warstw azotkowych na krzemie metodą piralityczną. Sprawozdanie wewnętrzne ITE, Etap OT, 1974.